

효율적인 배관 길이 방향 결함 진단을 위한 둘레 방향 전단파의 이용

Structural Health Monitoring of Axially Cracked Pipes Using Helically Propagating Circumferential Shear Waves

이 형 진* · 김 회 웅* · 김 윤 영†

Hyung Jin Lee, Hoe Woong Kim and Yoon Young Kim

1. 서 론

구조 안전 진단(Structural Health Monitoring)이란 비행기나 건물 등의 기반 시설의 손상(damage)을 전반적이고 실시간으로 검사하는 기술을 말한다. 손상은 일반적으로 구조물의 현재나 미래의 작동에 부정적인 영향을 줄 수 있는 요소로 정의되며, 시스템 상태가 초기의 손상되지 않은 시스템 상태와 비교될 때 비로소 그 의미를 갖는다.⁽¹⁾ 구조 안전 진단은 시스템의 실시간 손상 상태를 구조물의 노화와 손상의 축적 경향에 비추어 구조물의 현재 안전 상태를 파악하는데 중요한 기술이다.

구조 안전 진단이나 비파괴 검사에 있어 유도 초음파를 이용하는 연구가 다양하게 이루어져왔다. 특히 사회 기반 시설에 널리 사용되고 있는 배관 구조물의 진단에 대해서도 많은 기술들이 개발되고 있는데, 최근까지 길이 방향의 결함에 대해서는 성과가 많지 않았다. 이는 결함의 둘레 면적이 작을수록 반사파의 크기가 작아져 진단에 한계가 존재하기 때문이다. 이와 같은 진단의 어려움을 극복하기 위해서 둘레 방향 유도 초음파를 사용하여 길이 방향 결함을 진단하는 연구가 소개된 바 있는데,⁽²⁾ 이는 장거리 탐상에 부적합하다는 단점이 있다. 또한 최근에는 비틀림파가 길이 방향 결함에 의해서 산란되는 특성을 바탕으로 주파수와 결함의 길이, 두께의 관계 등을 파악하는 연구⁽³⁾가 진행되었고, 이 역시 반사 계수가 작고 직관적인 신호 해석이 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 자기-기계 연성 효과를 이용하는 자기변형 패치 트랜스듀서로 하여금 둘레 방향으로 전단파를 발생시켜 길이 방향 결함을 효율적으로 진

단하는, 기존의 방법과는 차별성을 갖는 진단 방법을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 둘레 방향 전단파의 가진 및 측정

전단파는 그 첫 번째 모드가 사용하는 주파수에 대해서 비분산적인 특성을 갖고 변위와 응력이 평면 내(in-plane)에서 우세하며 구조물의 두께에 대해 동일하다. 본 연구에서는 이러한 장점을 갖는 전단파를 가진하고 측정하기 위해서 자기변형 패치 트랜스듀서를 사용하였다. 그림 1은 실험 구성과 트랜스듀서의 형태를 보여준다.

(1) 실험 구성

함수 발생기를 통해 만들어진 가보(Gabor) 형상의 펄스를 가진기를 사용하여 배관의 둘레 방향으로 가진하였다. 발생된 전단파는 배관 둘레를 반복적으로 회전하면서 점진적으로 퍼져 나가게 되어 가진기에서 일정 거리만큼 떨어져 있는 측정기에서 반복적으로 측정될 것이라 예상하였다. 길이 방향 결함은 가진기와 측정기 사이에 배관을 관통하도록 가공하였고 그 두께는 0.5 mm, 길이는 5, 10, 15 mm로 하였다. 동 재료의 길이 1.5 m, 두께 1.27 mm, 외경 28.58 mm의 배관에서 실험을 진행하였다.

(2) 트랜스듀서의 구성 및 형태

트랜스듀서는 강자성체 패치와 배관의 둘레 방향으로 정자기장을 인가하기 위한 영구 자석, 길이 방향으로 동자기장을 인가하기 위한 솔레노이드 코일로 이루어져있다. 일반적으로 정자기장과 동자기장이 수직하게 되면 그 두 자기장이 인가되는 방향으로 전단 변형이 발생하게 되는데, 제안된 트랜스듀서의 패치는 배관 둘레 방향 너비가 축 방향 너비에 비해 상대적으로 매우 작아 둘레 방향으로 우세한 전단변형을 발생시킨다. 또한 가진하는 전단파의 주파수 조율을 위해 격자 패치를 사용하였다.⁽⁴⁾

† 교신저자; 정회원, 서울대학교 기계항공공학부,

서울대학교 차세대 자동차 센터

E-mail : yykim@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-7154, Fax : (02) 883-1513

* 서울대학교 대학원 기계항공공학부

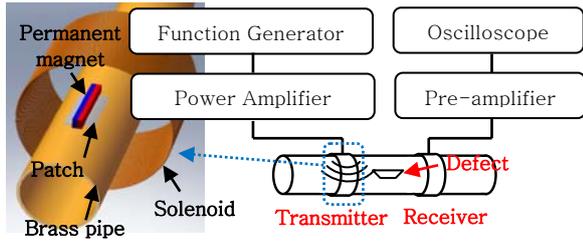


그림 1. 실험의 구성 및 제안된 트랜스듀서의 형상

2.2 길이 방향 결함의 진단

결함이 없는 배관에서 패치의 너비와 격자 간격을 각각 3 mm, 6 mm로 구성하였을 때, 조율하고자 한 주파수인 375 kHz에서 측정된 신호는 그림 2와 같다. 예상했던 것처럼 파이프 둘레를 전단파가 회전하는데 걸리는 시간과 비슷한 주기로 입력 신호가 반복적으로 측정되었고, 동일한 조건의 평판에서 실험을 통해 방사패턴을 살펴본 결과 배관의 둘레 방향으로 전단파가 우세하게 발생됨을 확인하였다. 또한 패치의 너비와 격자 간격에 따라 주파수 조율이 성공적으로 이루어지고 있었다.

(1) 기준 신호의 예측

결함이 없는 상태에서 측정되는 신호를 예측하기 위해서 하나의 가진기에 대해서 무한한 측정이 배관 둘레 간격으로 반복적으로 배치되어 있다고 가정하여 신호의 간격을 예상하였다. 그리고 트랜스듀서의 방사 패턴과 전단파의 감쇠를 고려하여 신호의 패턴을 예상해 본 결과 실험치와 매우 흡사함을 확인하였다.

(2) 결함 진단 결과

결함이 없는 상태의 신호를 바탕으로 결함에 의해 측정되는 신호의 변화가 있는지 확인해 보았다. 그 결과는 그림 3과 같다. 동일한 너비의 길이 방향 결함에 대해 그 길이가 늘어남에 따라 신호의 변화가 커지고 있었고 효율적인 진단 능력을 보임을 검증하였다.

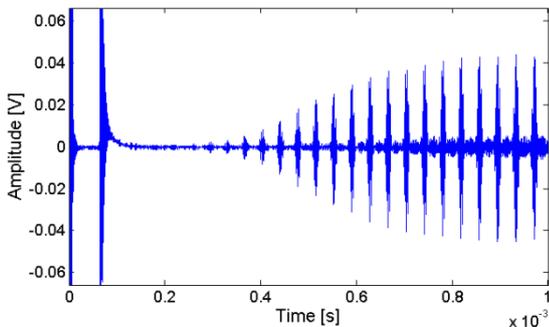


그림 2. 패치의 너비가 3 mm, 격자의 간격이 6 mm인 트랜스듀서를 사용했을 때 375 kHz에서 측정된 신호

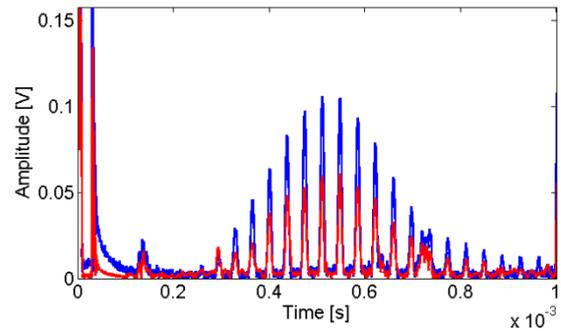


그림 3. 너비 0.5 mm, 길이 10 mm의 길이 방향 결함 진단 신호를 힐버트 변환한 결과. 결함이 없는 상태의 기준 신호(파란선)와 결함이 있는 상태의 측정 신호(빨간선)

3. 결론

본 연구에서는 배관에서 격자 패치를 사용하여 둘레 방향으로 우세한 전단파를 발생시킬 수 있는 자기변형 트랜스듀서 및 이를 이용한 길이 방향 결함 진단 방법을 제안하였고 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업(과제번호:2009-0083279)과 WCU(과제번호:R31-2009-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Charles R. Farrar and Keith Worden, 2007, "An introduction to structural health monitoring", Phil. Trans. R. Soc. A, 365, 303-315
- (2) W. Luo, J. L. Rose and H. Kwun, 2004, "Circumferential shear horizontal wave axial crack sizing in pipes", Res. Nondestruct. Eval., 15, 149-171
- (3) M. Ratssepp, S. Fletcher and M. J. S. Lowe, 2010, "Scattering of the fundamental torsional mode at an axial crack in a pipe", J. Acoust. Soc. Am., 127 (2), 730-740
- (4) Ik Kyu Kim and Yoon Young Kim, 2006, "Wireless frequency-tuned and measurement of torsional waves using magnetostrictive nickel gratings in cylinders", Sensors and Actuators A, 126, 73-77